A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEŞ, 2011

ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ ŞI AUTOMATIZAREA ELECTROFILTRELOR CU PLĂCI INDUSTRIALE

Gabriel Nicolae POPA, Corina Maria DINIŞ,
Sorin Ioan DEACONU, Iosif POPA

ELECTRICAL SUPPLY AND AUTOMATION OF INDUSTRIAL PLATE-TYPE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

The paper presents an analyse of power supplies types and automation solutions for industrial plate-type electrostatic precipitator.

Keywords: electrostatic, power supplies, automation
Cuvinte cheie: electrofiltre, surse de putere, automatizare

1. Introducere

Desfăşurarea activităților industriale trebuie să aibă loc, prin respectarea strictă a normativelor şi reglementărilor în vigoare, cu privire la prevenirea sau diminuarea poluării mediului înconjurător. Pentru separarea particulelor din mediul bifazic gaz-solid se utilizează diferite desprăfuitoare: cicloane (separare inerțială), multicicloane, instalații cu spălare umedă la presiune medie, spălare umedă la presiune înaltă, filtre cu saci, filtre electrostatice uscate (electrofiltre cu plăci), filtre electrostatice umede etc. Diferitele metode de desprăfuire pot fi foarte eficiente pentru diametre ale particulelor de praf de până la 10 μm, performanțe scăzute obținându-se pentru colectarea particulelor cu diametre sub 1 μm, particule de praf care se întâlnesc în cele mai multe procese industriale [1].

2. Surse de alimentare cu energie electrică ale câmpurilor electrofiltrelor

În prezent, în majoritatea aplicațiilor se utilizează regulatoare cu microcontrolere (de exemplu, cele din familia PIC) care comandă două tiristoare conectate în antiparalel în circuitul primar al transformatorului ridicător de tensiune, principiul de funcționare fiind acelaşi cu al variatoarelor de tensiune alternativă [2]. Schema de principiu a unei astfel de instalații este prezentată în figura 1.

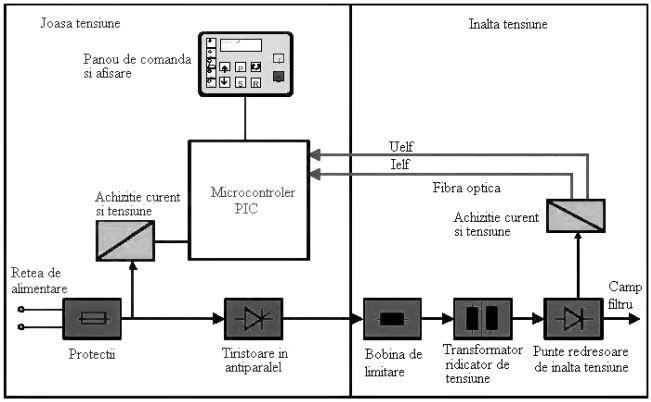

Fig. 1 Schema de principiu de alimentare cu energie electrică a câmpurilor electrofiltrelor alimentată de la două faze

Alimentarea transformatorului ridicător de tensiune se face între două faze de la rețeaua de joasă tensiune industrială (2x400 V c.a., 50 Hz), prin elemente de protecție şi comutație (siguranțe fuzibile, întreruptoare, contactoare) şi două tiristoare conectate în antiparalel, pentru a putea modifica tensiunea în secundarul transformatorului. Pentru limitarea curenților de scurtcircuit şi a curenților datorați descărcărilor din electrofiltre se utilizează o bobină de limitare. După ridicarea tensiunii la valori de zeci de kV, tensiunea se redresează cu o punte redresoare de înaltă tensiune, iar electrozii de emisie sunt conectați la potențialul negativ, iar cei de depunere la pământ. S-a constatat teoretic şi experimental, că pentru acelaşi nivel de tensiune şi în aceleaşi condiții de funcționare, alimentarea negativă a electrozilor de emisie determină o colectare mai bună ale particulelor de praf. Se achiziționează tensiunile şi curenții de la rețea şi din câmpul electrofiltrului, prin blocuri speciale de adaptare şi separare galvanică.

Semnalele de pe înalta tensiune sunt achiziționate prin fibre optice pentru a asigura o separare galvanică corespunzătoare. Tensiunea pe electrofiltru este continuă şi este modificată permanent în funcție de condițiile din proces. Acest tip de alimentare se utilizează când praful are rezistivități normale cuprinse între 10^6-10^9 $\Omega\cdot$cm.

Cu aceeaşi structură de sursă ca aceea din figura 1, dar cu un alt mod de reglare al tensiunii, se poate realiza economie de energie electrică şi îmbunătățirea eficienței de colectare a prafului cu rezistivitate ridicată cuprinsă între 10^9-10^{11} $\Omega\cdot$cm. Acest tip de alimentare este cunoscută sub denumirea de *alimentare intermitentă*, *controlul energiei*, *semi-puls* sau *modificarea pulsului*. Alimentarea intermitentă este cea mai ieftină metodă alternativă care a fost dezvoltată şi comercializată pentru prafurile de rezistivitate ridicată [1].

Un alt mod de alimentare a câmpurilor electrofiltrelor se realizează cu ajutorul unui alt tip de surse de alimentare, formată pe de o parte din schema electrică din figura 1, care produce înaltă tensiune continuă (aproximativ 40 kV), şi pe de altă parte dintr-o instalație electrică care produce pulsuri de înaltă tensiune (aproximativ 60 kV), care sunt repetate cu o anumită frecvență şi sunt suprapuse peste tensiunea produsă de prima instalație. Acest tip de alimentare se numeşte prin pulsuri, iar frecvența pulsurilor este cuprinsă între 1-400 Hz şi lățimile pulsurilor variază între 1μs şi 100μs [1, 2]. Acest mod de alimentare se utilizează atunci când rezistivitatea prafului are valori foarte ridicate între 10^{11}-10^{13} $\Omega\cdot$cm. Față de metodele prezentate, alimentarea prin pulsuri se diferențiază prin: pulsuri de înaltă tensiune cu o amplitudine mai mare (aproximativ 100 kV); tensiunea de bază (continuă) este menținută aproape de tensiunea Corona; valoarea de vârf a tensiunii pe câmp este egală cu tensiunea de bază la care se adaugă pulsul de tensiune, deci valoarea totală este mai mare decât în cazul alimentării obişnuite în curent continuu. Producătorii de astfel de surse de generare a pulsurilor de înaltă tensiune au conceput în principiu două arhitecturi de bază: una bazată pe comutație la potențial scăzut şi alta bazată pe comutația la potențial ridicat.

Pentru o eficiență maximă de colectare este importantă funcționarea electrofiltrului cât mai aproape posibil de descărcarea electrică în electrofiltru, pentru a obține un efect Corona maxim. Această condiție este îndeplinită dacă tensiunea se reglează continuu în domeniul care cuprinde valoarea tensiunii Corona. Din păcate, chiar pentru procese bine reglate, modificările gazului de la intrarea în electrofiltru conduc la descărcări care compromit performanțele electrofiltrului.

Alimentarea cu convertoare statice de înaltă frecvență este utilizată în ultimul timp la alimentarea câmpurilor după schema electrică de principiu prezentată în figura 2 [1, 2, 4].

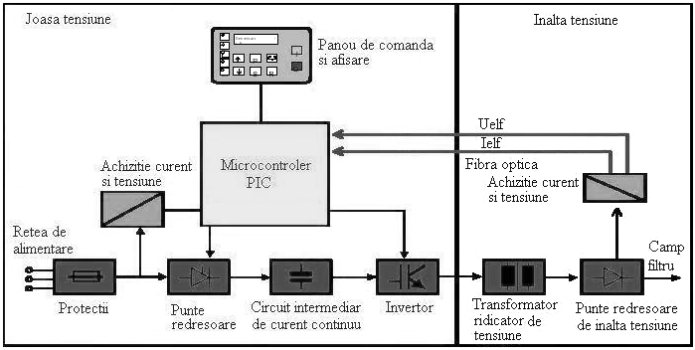

Fig. 2 Schema de principiu de alimentare a unui câmp cu convertor curent alternativ-curent continuu la înaltă frecvență

Convertorul de putere este alimentat la rețeaua trifazată 380 V c.a. 50 Hz, prin elemente de protecție şi comutație (siguranțe fuzibile, întreruptoare, contactoare), tensiunea fiind redresată cu o punte şi filtrată.

Se obține astfel tensiune continuă care alimentează un invertor monofazat cu tranzistoare IGBT care funcționează la o frecvență de comutație de ordinul zecilor de kHz. Această tensiune modulată se aplică unui transformator de înaltă tensiune cu miez de ferită, iar tensiunea înaltă de la ieşire este redresată cu o punte redresoare rapidă de înaltă tensiune. Tensiunea de ieşire a transformatorului de înaltă tensiune este controlată prin modificarea timpilor de intrare în conducție sau blocare a comutatoarelor de putere (tranzistoare) utilizând o reacție care monitorizează continuu tensiunea de ieşire şi nivelul de curent, pentru a obține condiții optime în electrofiltru.

Tensiunile şi curenții de la rețea şi din câmpul electrofiltrului sunt achiziționate prin blocuri speciale de adaptare şi separare galvanică. Se utilizează fibre optice la achiziționarea semnalelor de pe partea de înaltă tensiune pentru a asigura o separare galvanică corespunzătoare.

Un sistem cu microcontroler, prin softuri specializate, ia decizii referitoare la nivelul tensiunii şi a modului de evoluție a tensiunii. Tensiunea pe electrofiltru este continuă şi are oscilații mult mai mici decât la alte tipuri de surse de alimentare.

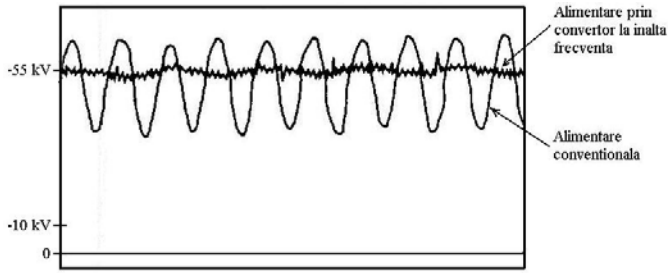

Fig. 3 Tensiunea în câmpul electrofiltrului la alimentarea convențională la alimentarea cu convertoare de înaltă frecvență

În figura 3 se prezintă diagramele măsurate ale tensiunilor, în cazul a două alimentări, alimentare obişnuită în curent continuu (figura 1) şi alimentarea prin convertor la înaltă frecvență (figura 2) la acelaşi curent prin câmp (de 200 mA), pentru acelaşi câmp al electrofiltrului. În aceste condiții, sursa de putere convențională produce o tensiune de vârf cu 10 kV mai mare decât sursa de comutație la înaltă frecvență, dar la o tensiune medie mai scăzută.

Pe lângă îmbunătățirea performanțelor, masa şi gabaritul surselor de alimentare la înaltă frecvență scad comparativ cu sursele de alimentare de la rețeaua industrială [4].

3. Automatizarea surselor de alimentare ale electrofiltrelor

Pentru a obține o eficiență maximă de colectare a particulelor de praf, trebuie să existe o bună compatibilitate între sursa de putere (transformator-redresor) şi secțiunea electrofiltrului care este alimentată cu tensiune.

O altă condiție este utilizarea unei unități de control al tensiunii performante [1]. De-a lungul exploatării electrofiltrelor au fost utilizate mai multe procedee de reglare [3]:

- pe baza curentului şi tensiunii date;
- pe baza străpungerii în arc electric în electrofiltru;
- pe baza numărului de descărcări electrice în electrofiltru;
- pe baza valorii maxime a puterii consumate la descărcarea Corona;
- pe baza valorii medii a tensiunii maxime.

Nu se utilizează în general numai un anumit procedeu de reglare, ci combinații ale acestora. În figura 4 este prezentată o schemă de principiu de automatizare a unui electrofiltru cu plăci cu trei câmpuri [4].

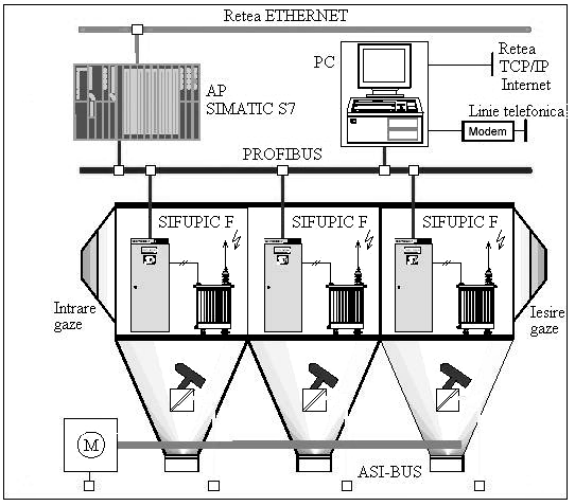

Fig. 4 Automatizarea unui electrofiltru cu plăci cu trei câmpuri

Supervizarea funcționării surselor de alimentare a celor trei câmpuri şi achiziționarea tensiunilor şi curenților în vederea memorării şi prelucrării se realizează cu un calculator personal (PC) cu un soft dedicat. Acesta poate fi conectat la Internet prin rețea TCP/IP sau/şi prin linie telefonică cu ajutorul unui modem. Comanda surselor de alimentare se realizează de obicei printr-un automat programabil de clasă mică-medie (de exemplu SIMATIC S7-Siemens) printr-o rețea PROFIBUS la care este conectat şi PC-ul. Sursele de alimentare, obişnuite sau alimentate cu convertoare la înaltă frecvență, pot fi de tipul SIFUPIC-F sau PIC 410-F. Scuturarea câmpurilor (electrozii de emisie şi cei de depunere) se realizează prin motoare de inducție trifazate comandate prin rețea ASI-BUS. Momentul şi durata scuturărilor sunt stabilite de automatul programabil, în aşa fel încât nu sunt scuturate două câmpuri concomitent.

La comanda şi la supervizarea funcționării electrofiltrelor cu plăci se utilizează 386, 486 şi Pentium pentru softul ZEOKOM [2] care funcționează sub sistemul de operare DOS. Un astfel de soft poate regla şi supraveghea maximum 20 de surse de alimentare a secțiunilor electrofiltrelor, printr-o interfață RS-232/RS-485. De la fiecare sursă de înaltă tensiune sunt transmise valorile momentane ale curentului şi tensiunii despre care se obțin informații în legătură cu starea surselor de înaltă tensiune şi se achiziționează la 30 s valorile acestora pentru a se putea obține optimizarea funcționării. Se pot trasa caracteristicile

tensiune-curent pentru fiecare secțiune în parte şi acestea se păstrează în memorie pentru o perioadă lungă de timp, după care sunt şterse automat. Softul are posibilitatea de a avertiza operatorul despre defectele sau erorile care apar şi anume: contactorul nu poate fi anclanşat, scurtcircuit în secundarul transformatorului de înaltă tensiune, tensiune minimă, arc permanent, avertizare funcționare în gol a transformatorului de înaltă tensiune, defecte la traductoare, creştere peste limită a curentului primar, sursa de înaltă tensiune blocată de protecții externe, temperatura depăşită în cuva cu ulei a transformatorului, curent prea mic între electrozi, regim de scuturare nesincronizat, conducție între electrozi.

Recent, au fost concepute alte softuri mai performante, cum sunt de exemplu WinDAC Data Acquisition & Archiving Software şi WINPIC [1, 2, 4], utilizate la achiziția datelor, la monitorizarea şi controlul electrofiltrelor care pot fi utilizate pe PC cu configurația minimă 486 şi care funcționează sub sistemul de operare Windows 95, 98, 2000 sau Windows NT. Cu aceste softuri, pe lângă intrările uzuale utilizate la comandă şi la reglare, se pot utiliza intrări speciale de la opacimetru (conectate la coşul de evacuare), încărcarea cazanului cu combustibil etc. Datele pot fi arhivate pe o perioadă lungă de timp şi pot fi exportate în forme tipizate spre baze de date. Se utilizează protocolul Dynamic Data Exchange pentru a putea lucra cu alte rețele de calculatoare. Poate controla până la 256 de surse de alimentare de câmpuri ale electrofiltrelor, are 32 de intrări care sunt configurate de către utilizator de la un calculator central şi utilizează ultimele noutăți în interfețe grafice. Prin utilizarea logicii fuzzy se poate obține o diminuare cu până la 50 % a energiei electrice consumate de câmpuri în condițiile menținerii unei eficiențe de colectare ridicate. Totodată, softurile asigură interfațarea în mai multe limbi de circulație internațională, pot fi controlate şi monitorizate prin Internet prin rețea ISDN, WAN, linie telefonică sau telefonie mobilă. Există posibilitatea de afişare a erorilor şi a alarmelor de diverse tipuri şi de modificare a momentelor şi a duratelor de scuturare ale câmpurilor electrofiltrelor cu plăci.

S-au construit automate programabile specializate comandate prin calculator cum ar fi PRC-100 care utilizează softul WinRAP [1, 2]. Un astfel de automat programabil asigură completa izolare față de tensiunile înalte şi conține un circuit analogic de măsurare a tensiunii de comandă a electrofiltrului. Are izolări optice şi transformatoare de izolare. Poate număra scuturările pentru fiecare secțiune în parte. Poate alimenta maxim 16 scuturătoare atât în curent continuu cât şi în curent alternativ, în cele mai extreme condiții.

4. Concluzii

■ Sursele obişnuite de putere, în cazul electrofiltrelor, sunt alimentate de la două faze, ceea ce determină o încărcare neuniformă a reţelei trifazate. La alimentarea intermitentă tensiunea maximă pe electrofiltru este mai mare, tensiunea minimă este mai mică şi pentru că acest principiu se bazează pe suprimarea pulsurilor de curent, valoarea efectivă şi medie a curentului sunt mai mici.

■ Alimentarea prin pulsuri este recomandată pentru electrofiltre care colectează praf de rezistivitate foarte ridicată. Convertoarele de putere la înaltă frecvenţă vor avea probabil un impact considerabil asupra modului de alimentare ale electrofiltrelor, mai mult decât alimentarea prin pulsuri, alimentarea intermitentă sau a sistemelor de condiţionare a gazelor.

■ Pentru a menţine eficienţa de colectare la un nivel cât mai ridicat posibil în condiţii dificile de operare este nevoie de mai multă putere şi sunt utilizate unităţi de control comandate de calculatoare personale şi/sau automate programabile din ce în ce mai sofisticate. Unul din obiectivele principale ale unităţilor de control automat este de a păstra tensiunea din secţiunea electrofiltrului cât mai aproape de descărcarea electrică.

BIBLIOGRAFIE

[1] Parker, K.R., şi colectiv, *Applied Electrostatic Precipitation*, Chapman and Hall, Londra, Anglia, 1997.
[2] Popa, G.N., *Contribuţii privind îmbunătăţirea performanţelor unor electrofiltre industriale pentru sisteme bifazice gaz-particule solide*, teză de doctorat, Facultatea de Electrotehnică şi Electroenergetică, Universitatea „Politehnica” Timişoara, 2004.
[3] Nibeleanu, Şt., Artino, A., Napu, S., *Instalaţii de separare a prafului cu electrofiltre*, Editura tehnică, Bucureşti, 1984.
[4] * * * *Electrostatic precipitator*, www.highvolt.de

Şef lucr.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA
membru AGIR, membru IEEE, gabriel.popa@fih.upt.ro
Şef lucr.ec.Dr.Ing. Corina Maria DINIŞ
membru AGIR
Conf.Dr.Ing. Sorin Ioan DEACONU
Director D.I.E.I.I., membru AGIR, membru IEEE
Conf.Dr.Ing. Iosif POPA
membru AGIR
Universitatea „Politehnica” Timişoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara,